

Е. Г. Алаев, Ю. В. Демин, А. Б. Палагушкин, Б. В. Палагушкин
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»
(г. Новосибирск, Россия)

Г. В. Иванов

Тобольский филиал ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет» (г. Тобольск, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЭКРАНИРОВАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Устанавливаемая на подстанциях и электростанциях современная микропроцессорная аппаратура РЗА, противопожарная автоматика, АСУ ТП, АИИС КУЭ и связь часто подвергается в ходе эксплуатации воздействию высоких уровней электромагнитных помех. Соответственно, вся вышеперечисленная аппаратура должна удовлетворять целому ряду требований устойчивости к уровню электромагнитных полей, микросекундным импульсным помехам (МИП), колебательным затухающим помехам (КЗП), качеству питания и состоянию заземляющего устройства (ЗУ) [1].

Однако, как отмечается в многочисленных исследованиях М.В. Матвеева (ООО «ЭЗОП»), И.Г. Косарева (ОАО «ЦИУС ЕЭС») и др., уровень импульсных перенапряжений на станциях (ЭС) и подстанциях (ПС) в ряде случаев значительно превосходит требования ГОСТ Р 51317.4.5-99. На большинстве объектов (84% из 100 случайно выбранных подстанций и электростанций) разности потенциалов, которые возникают вдоль кабельных трасс при молниевых разрядах в систему молниезащиты ПС и ЭС, могут превышать 16 кВ в течение планируемого срока эксплуатации объекта. При протекании через заземляющее устройство ВЧ-составляющей тока КЗ или при срабатывании ОПН возникают одиночные колебательные затухающие помехи [2,3].

Снизить уровень помех на входе цифровой аппаратуры позволяют экранированные кабели с заземлением экранов с двух сторон [4].

Уровни импульсных и высокочастотных электромагнитных помех, возникающих на большинстве ПС и ЭС, превышают максимальные уровни помехоустойчивости цифровой аппаратуры даже при условии применения экранированных кабелей с заземлением экранов с двух сторон.

Для решения проблемы авторами в [3] предлагается использование экранирующих свойств кабельной канализации: устройство шин уравнивания потенциалов (ШУП), смонтированных снаружи на элементах кабельной канализации и проложенных внутри кабельной канализации.

При этом в ходе экспериментов помехи создавались как источниками, гальванически связанными с ЗУ, так и источниками, не связанными с ЗУ.

Результаты эксперимента показали:

- использование экранирующих кабельных конструкций позволяет обеспечить дополнительное ослабление электромагнитных помех;

- при заземлении металлоконструкций лотков в промежуточных точках эффективность экранирования может снижаться;

- сложнее обеспечить ослабление помех, создаваемых вследствие протекания тока через заземляющее устройство (т.е. гальванически связанными с ЗУ источниками), чем помех, наводимых высокочастотными процессами в ошиновках (для случая, когда нет гальванической связи между источником помех и ЗУ).

Последние два вывода указывают на необходимость оценки состояния заземляющего устройства ПС и ЭС при внедрении в системы электроснабжения цифровой аппаратуры, о чем справедливо указывают авторы в [3]: «альтернативные пути достижения требуемого уровня ослабления помех...: кардинальное улучшение ЗУ...».

Снижение экранирования металлоконструкций лотков при заземлении в промежуточных точках связано с неэквипотенциальностью ЗУ ПС. В то время, как главное требование к заземлению цифровой аппаратуры заключается в выравнивании потенциала на шинах всех опорных узлов [2]. Это в свою очередь зависит от эквипотенциальности ЗУ. Так, при неэквипотенциальном ЗУ потенциалы шин заземления различных опорных узлов, соединенные с общим заземляющим устройством в разных точках, будут существенно отличаться – чем выше неэквипотенциальность, тем больше разность потенциалов между различными точками ЗУ. Следует подчеркнуть, что максимальная «неэквипотенциальность» наблюдается при минимальном удельном сопротивлении грунта ($\rho \approx 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$), но при этом отмечается и максимальная коррозия.

Кроме того, не всегда удастся обеспечить «точечное заземление» цифровых систем, так как, согласно исследованиям, всегда наблюдаются параллельные (неконтролируемые) цепи заземления [2]. В связи с этим возникает необходимость в выравнивании потенциалов по элементам ЗУ эксплуатируемых электроустановок.

При внедрении цифровой аппаратуры в системы электроснабжения необходимо рассчитывать параметры электробезопасности: напряжение «до прикосновения» ($U_{\text{дп}}$) и напряжение на металле ($U_{\text{ме}}$), поскольку в аварийных и нормальных режимах работы электроустановки значения именно этих параметров ЗУ могут быть приложены к корпусам различного цифрового оборудования.

У неэквипотенциальных заземляющих устройств электроустановок отмечается ухудшение электромагнитной обстановки, так как наблюдается перепад потенциала по металлу на 15...30 %, напряжения «до прикосновения» изменяется в 1,5...2,5 раза [5].

Для снижения влияния электромагнитных возмущений на параметры электробезопасности ЗУ необходимо принимать меры для выравнивания потенциала по элементам ЗУ, т.е. ЗУ должно быть эквипотенциальным.

Предлагаемые способы выравнивания потенциалов, например, с помощью укладки дополнительной сетки с мелкими ячейками из меди (стандарт МЭК 61024), требуют дополнительного исследования. Медь, как мощный катод, вызовет дополнитель-

ную коррозию арматуры в бетоне, оболочек кабелей, стальных трубопроводов и т. п.

Стандарт МЭК по выравниванию потенциалов не только ухудшает коррозионную обстановку, но у сетки со сгущенной ячейкой увеличивается индуктивность, которая препятствует выравниванию потенциала.

Для экранирования кабельных систем предлагается применить кабельные лотки с покрытием из электропроводного бетона (бетэла).

Известно, что идеальное эквипотенциальное покрытие – это стальной лист на поверхности грунта. Поэтому сравним выравнивание потенциала с помощью стального листа и с помощью бетэла. Составы бетэла выберем с прочностью на сжатие от 14 до 32,6 МПа и удельной электропроводностью от 0,16 до 0,9 Ом·м. Расчёты выполнены для полосы из стали и бетэла (ширина $b = 2$ м и длина $l = 5$ м) и для круга диаметром ($D = 100$ м и 200 м).

Изменение потенциала по материалу оценим по выражению

$$\varphi = \varphi_0 \cdot I^{-x \cdot \sqrt{R_m/R_n}},$$

где φ_0 – потенциал в точке ввода тока, В;

φ – потенциал в точке x , В.

Таблица – Выравнивание потенциала с помощью полосы бетэла
(в сравнении со стальной полосой)

№	Предел прочности, МПа	Удельное электрическое сопротивление бетэла, Ом·м	$R_{\text{бет}}$	$R_{\text{ст}}$	$\varphi_{\text{бет}}$	$\varphi_{\text{ст}}$	Отношение $\varphi_{\text{бет}}/\varphi_{\text{ст}}$
1	14	0,16	0,016	0,0135	0,960	0,963	0,997
2	16,4	0,34	0,034		0,942		0,978
3	20	0,49	0,049		0,930		0,966
4	32,6	0,9	0,090		0,907		0,942
5	14,5	0,08	0,008		0,971		1,009
6	32	2,9	0,290		0,839		0,871
7	14,1	0,38	0,038		0,938		0,975
8	14,2	0,4	0,040		0,937		0,973
9	13,9	0,42	0,042		0,935		0,971
10	14,6	1,2	0,120		0,893		0,928

Результаты расчётов по выравниванию потенциалов на заземляющем устройстве для полосы приведены в таблице.

Из таблицы видно, что для целей выравнивания потенциала пригодны все приведённые составы. Составы с удельным сопротивлением до 0,49 Ом·м и прочностью на сжатие до 20 МПа дают практически эквипотенциальное покрытие и, следовательно, полное выравнивание потенциала.

При этом бетэл выдерживает:

- стекание импульсного тока ($t=3$ мс) до 10^5 А/м²;
- длительное стекание переменного тока ($f=50$ Гц) до 30 А/м²;

- длительное стекание постоянного тока до 5 A/m^2 .

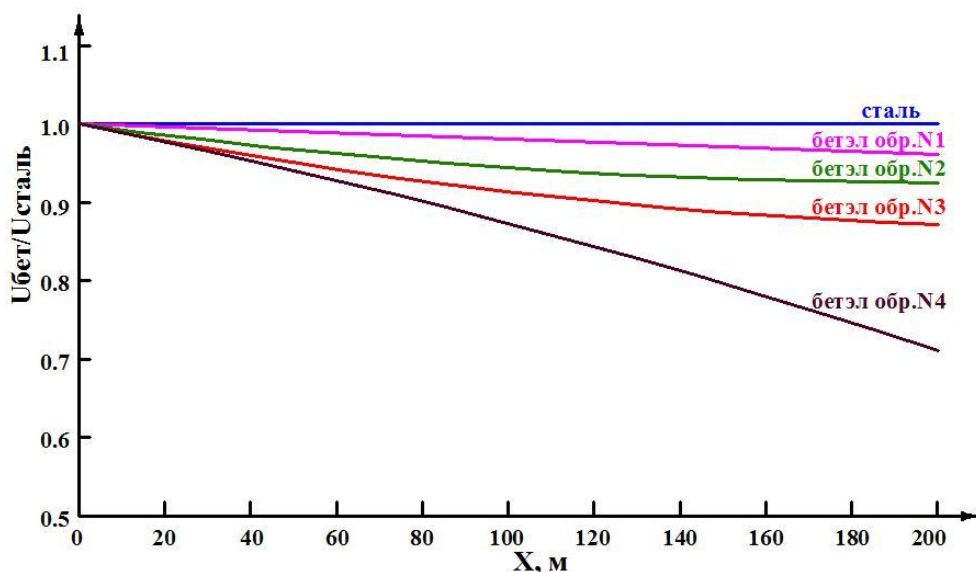


Рисунок – Выравнивание потенциала на заземляющем устройстве с помощью бетэла:

- 1 – сталь; $\rho = 0,135 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; 2 – бетэл; $\rho = 0,16 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; прочность на сжатие 14 МПа;
3 – бетэл; $\rho = 34 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; прочность – 16,4 МПа; 4 – бетэл; $\rho = 0,49 \text{ Ом}\cdot\text{м}$;
прочность – 20 МПа; 5 – бетэл; $\rho = 0,9 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; прочность – 32,6 МПа.

Таким образом, альтернативным решением по улучшению ЗУ может быть использование покрытия кабельных лотков бетэлом. Что позволит выровнять потенциалы при промежуточном заземлении кабельных лотков.

При этом, использование бетэла для выравнивания потенциала на заземляющем устройстве в зоне помещений с цифровой аппаратурой устранил влияние параллельных (неконтролируемых) цепей заземлений и тем самым улучшит электромагнитную обстановку на электроустановке.

Выводы.

Знание ЭМО необходимо, чтобы сформулировать рекомендации необходимые для обеспечения надёжной работы цифровой аппаратуры.

Поэтому реконструкция подстанций, проводимая в настоящее время, должна в обязательном порядке предусматривать обследование технического состояния и приведение, в соответствии с техническими требованиями, устройств заземления электроустановок, как важнейшего фактора ЭМО.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 51317.4.5-99. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.
2. Матвеев М.В. Электромагнитная обстановка на объектах определяет ЭМС цифровой аппаратуры // Новости электротехники. – 2002. – № 1–2. – С. 13–14.
3. Матвеев М.В., Косарев И.Г. Экранирующие кабельные конструкции. Средство экономичного решения проблем ЭМС // Новости электротехники. – 2013. – № 1.
4. Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на электросетевых объектах ЕНЭС. СТО-56947007-29.240.044-2010.
5. Демин Ю.В., Иванов Г.В. и др. Разработка методики расчета и анализ влияния электромагнитных помех на параметры электробезопасности заземляющего устройства // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 4. – С. 66–70.